

폐고무를 이용한 공공주택 층간소음차단 시스템

오정석 · 서재찬* · 김진국[†]

경상대학교 나노·신소재공학부 고분자공학전공, *(주)반석인더스트리즈
(2017년 4월 19일 접수, 2017년 5월 17일 심사, 2017년 7월 5일 채택)

Floor Noise Isolation System of the Residential Buildings Using Waste Rubbers

Jeong Seok Oh, Jaechan Suh*, and Jin Kuk Kim[†]

School of Materials Science and Engineering, Polymer Science and Engineering, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, 501 Jinju-daero, Jinju 52828, S. Korea

*Bansuk Industries, 50 Jangyu-ro 373, Gimhae-si 51008, S. Korea

(Received April 19, 2017; Revised May 17, 2017; Accepted July 5, 2017)

초 록

최근 공동주택이 증가함에 따라 층간소음문제가 증가하고 있다. 이로 인해 더 효과적인 층간소음저감 시스템이 요구되고 있다. 향후 고층빌딩이 더 많이 건설될 것이므로 이런 시스템은 시장에서 더욱 수요가 요구되어지는 중요한 기술이다. 본 연구에서는 폐고무를 이용하여 신규 바닥 소음 저감 판넬을 설계하고 제작하였다. 실험실 및 실제 필드 조건에서 소음 저감을 조사하였다. Field test 결과 경량 및 중량충격음 레벨이 각각 52, 48 dB로 우수한 결과를 보였다. 기존 구조 대비하여 22~42 mm의 두께 저감을 할 수 있었다.

Abstract

Recently, complaints of floor noise have been growing up with the rapid increase of the residential buildings. This demands the effective floor noise isolation system. Since the construction of high-rise the residential buildings will be increased even more in future, the noise isolation is a more important technology in the market. In this study, a new floor noise isolation panel (FNIP) was designed and manufactured using waste rubbers. The noise isolation was investigated at both laboratory and field conditions. Light and heavy weight shock wave showed 52 dB and 48 dB in the field test, respectively. The new system could reduce the total floor thickness by 22~42 mm.

Keywords: noise, isolation, weight shock, waste rubber

1. 서 론

최근 한국사회에서 주거문제의 최대 이슈 중 하나는 아마도 공동주택에서의 층간소음으로 인한 삶의 질 저하, 즉 이로 인한 사회 갈등의 증가로 인한 심각한 사회적 문제를 꼽을 수 있다. 그동안 층간소음 문제를 해결하기 위한 적지 않은 연구[1-8]와 새로운 제품들이 개발되어 사용되어져 왔으나 우리사회는 여전히 층간소음 문제에 대해 지속적인 갈등을 되풀이 하고 있다. 그 이유는 현재의 제품들이 충분히 층간소음 차단효과나 혹은 감쇠 능력을 가지지 못했기 때문일 것이다.

층간소음의 발생원인으로는 원가절약을 위한 건설업체의 슬라브 두께 감소와 충분한 성능을 가진 고분자 차음재료의 개발부진을 대표적으로 들 수 있다.

독일에서 바닥충격음은 오래전부터 문제가 되어왔으며 1932년 독

일의 Reiher는 바닥충격음의 평가시에 같은 충격음을 항상 발생하도록 하는 tapping machine을 고안하였다[9]. 이는 입식 생활을 하는 서구에서는 구두소리와 같은 경량충격음이 주로 문제가 되기 때문이다. 서구에서 바닥충격음의 대처 방안으로 연구한 방법은 뜬바닥(floating floor) 구조로 바닥과 구조물사이에 탄성계수가 작은 물질(mineral wool 등)을 넣어 진동 및 충격(impact)을 차단하는 원리이다. David Harris의 1997년 ‘공동주택에서의 층간소음조절매뉴얼’에 따르면, 미국은 차음성능으로 지리적 위치, 경제적 조건, 바닥구조 기능에 따라 3등급으로 구분하고 있다[10].

우리나라와 유사한 형태의 바닥충격음에 관한 연구는 주로 일본에서 이전부터 활발히 수행되고 있으며 측정과 이론해석에 대한 많은 연구결과가 발표되고 있는데, 이는 소음과 진동이 지진과의 관련성이 높아서일 것이다. 특히 최근에 많은 연구되고 있는 콘크리트 슬라브 구조에 대한 일본의 연구결과는 유사한 바닥구조를 사용하는 우리나라에 많은 도움이 된다. 그러나 아직까지도 일본에는 목구조주택이 많아서 목재 바닥충격음에 대한 연구결과가 상대적으로 많으며, 이를 해결하기 위해 바닥을 이중으로 시공하고 있다. 1965년 주택건설 계획법의 제정 공포로 양산화 주택에 따른 내부소음 문제해결을 위하여

[†] Corresponding Author: Gyeongsang National University, School of Materials Science and Engineering, Polymer Science and Engineering, Engineering Research Institute, 501 Jinju-daero, Jinju 52828, S. Korea
Tel: +82-55-772-1655 e-mail: rubber@gnu.ac.kr

Table 1. Formulation of the First EPDM Rubber Layer

Component	Overflow EPDM	FEF Carbon Black	CaCO ₃	Dicumyl Peroxide	ZnO	Stearic Acid	Wax
amount (phr)	100	84	70	1	5	1	1.5
Suppliers	Kumho Polychem	Korea Carbon	Lexem	Pyungwha	Hanil Chemical	LG Chemistry	Dow Chemical

Table 2. Formulation of the Second Reclaimed Tire Rubber and Natural Rubber Blend Layer

Component	Reclaimed Tire Rubber	Natural Rubber	CaCO ₃	Stearic Acid
amount (phr)	150	100	83	1
Suppliers	Sanchulli Recycle	Samoh CMB	Lexem	LG Chemical

Table 3. Formulation of Lightweight Concrete

Component	Portland Cement	Super Glue Cement	Hanil Remitar (Mortar Cement)
Amount (%)	40	40	20

1973년 바닥충격음 측정방법(JIS A 1418)을 만들어서, 차음성능 개선 방안으로서 뜬바닥 구조용 완충재(JIS A 6321, 6322) 등 차음 재료와 건축물의 차음성능 기준과 설계지침이 제시되었다[11].

폐고무는 재활용이 쉽지 않아 많은 환경문제를 야기한다. 폐고무를 연료로 사용하거나[12], 기계적 분쇄[13], 저온분쇄[14], 마이크로파[15], 초음파[16-20], 바인더[21]를 이용하는 연구가 보고되었으나 아직도 좋은 재활용 방법이 요구되고 있다. 재활용하기 위해 공정 중 발생하는 overflow 폐고무의 경우 약 15% 정도로 다량이다(반석인더스트리 기준). 또한 페타이어의 경우 매년 상당한 양이 계속 발생하므로 이에 대한 효과적인 재활용 방법이 요구된다.

본 연구에서는 기존의 경량콘크리트와 EVA (ethylene vinyl acetate) 완충재로 이루어진 2층의 바닥시스템을 대체하기 위해 폐EPDM (ethylene propylene diene M-class) 고무, 페타이어 고무, 역청 및 경량 콘크리트의 4가지 재료를 이용한 7층으로 적층하고 wrapping sleeve를 철근에 적용하여 신규 층간소음차단 판넬을 설계하고 제작하였다. 이를 실험실 및 필드 모두에서 소음 저감 효과에 대하여 조사하였다.

2. 실험

2.1. 재료

EPDM고무(금호폴리켄 KEP570F)는 제품 제조시 공정상 발생하는 overflow EPDM 고무(반석인더스트리즈)를 Table 1과 같은 배합을 사용하여 제1고무층을 제조하였다. 60~100 mesh의 페타이어 고무(삼천리재생)를 Table 2와 같은 배합을 사용하여 제2고무층을 제조하였다. 콜로이드층으로 역청을 고무와 혼합하여 역청층을 제조하였다(신도화학). 경량 콘크리트는 Table 3과 같은 배합을 사용하여 제작하였다.

2.2. 판넬제작

Figure 1은 기존 층간소음 방지구조 (a)와 본 연구에서 신규로 제시된 층간소음 방지 판넬 구조이다. 기존 구조는 경량콘크리트와 완충재 2층으로 구성되며 80~100 mm 정도의 두께를 가진다. 신규 FNIP구조는 제1고무층(5 mm)/제2고무층(5 mm)/역청층(5 mm)/경량콘크리트(30 mm)/역청층(5 mm)/제2고무층(5 mm)/제1고무층(5 mm)로 총 60 mm로 설계하였고 성형압력을 받은 후의 실제 확보두께는 58 mm이었다.

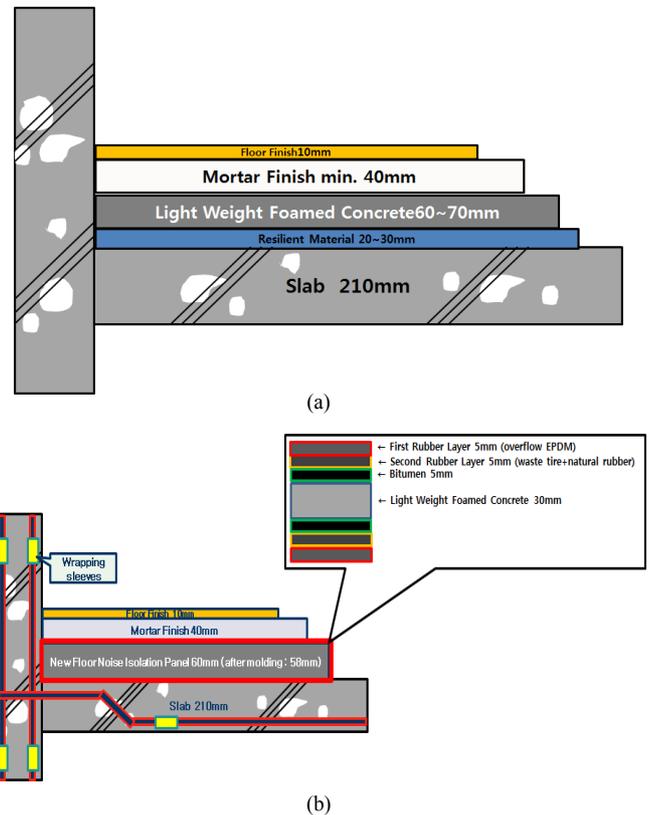


Figure 1. Schematic of current (a) and new (b) floor noise isolation system.

제1고무층과 제2고무층은 open roller에서 온도 30~40 °C에서 10 min 이내로 혼련시켰다. 역청층은 5 mm 두께의 sheet type으로 재단하여 금형위에 stacking하여 성형하였다(Figure 2). 자체의 sticky한 물성으로 접착은 용이하였다. 경량콘크리트층은 목형으로 금형을 제작하여서 설계 배합비로 제작하였다. 잘 혼합한 mortar을 금형에 부은 후, cement knife로 표면을 flat하게 했다. 890 mm × 890 mm × 30 mm로 제작하고 크랙방지를 위해서 그늘에서 양생시키고 충분한 강도를



Figure 2. Preparation of bitumen sheet.



5th FLOOR	ROOF & WATER TANK		
4th FLOOR	SOUND GENERATING ROOM		
3rd FLOOR	CONVENTIONAL	FNIP ONLY	FNIP ONLY & WRAPPING
2nd FLOOR			
1st FLOOR	PILOTIS		

Figure 4. Structure of test building.

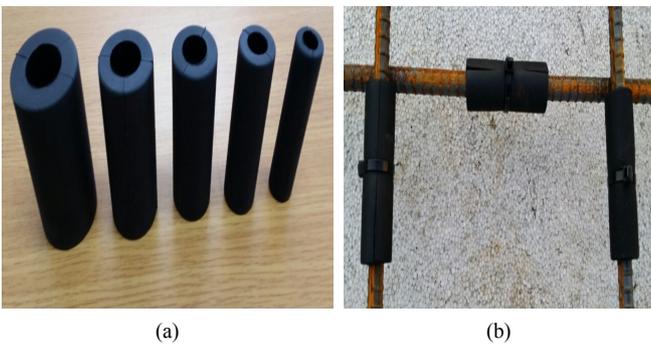


Figure 3. Wrapping sleeves of before (a) and after (b) wrapping.

확보하기 위해 28일 건조시켜서 사용하였다. Wrapping sleeve는 overflow EPDM을 사용하고 지름 Ø13, Ø16, Ø19, Ø22의 치수로 정하고, 각각의 길이는 모두 80 mm로 하였다(Figure 3). 처음에는 직경별 길이의 차이를 두고 설계했으나, 너무 짧을 경우 wrapping에 어려움이 예상되므로, 장착시 손으로부터 쉽게 흘러지지 않을 정도의 길이로 설계했고, 또한 충분한 감쇠를 위해 작은 직경제품에도 충분히 길이를 확보하도록 했다. 제작은 진공프레스 250톤, 열판 550 × 550 mm에서 가류시간 300 s, 온도 165 °C, 압력 125 kgf/cm²에서 제작하였다. 제품의 air blister 제거를 위해서 진공은 3회 걸었다.

2.3. 설치

시험적용건축물은 신축 중인 주차전용건축물에 부속된 5층(Figure 4) 건물에서 진행하였다. 제작된 FNIP을 3층에 위치한 3개의 room에 각각 1) 기존 구조, 2) 7층 적층구조, 3) 7층 적층구조와 wrapping sleeve 동시 적용 구조의 3가지를 설치하여 비교하였다. 1층은 필로티여서 대상에서 제외한다. 5층은 물탱크 및 관리실로 구성되어 있어 정상적인 주거공간이 아니므로 시험의 객관성확보가 곤란하여 제외하였다. 2층은 아래층인 1층이 필로티라 소음의 측정 및 공명에서 영향을 줄 수 있기 때문에 시험에서는 제외한다. 4층에서 충격음을 가하여 3층에서 소음을 측정했다.

2.4. Lab test

동탄성 및 손실계수 KS F 2868 (거주 공간 뜯바닥용 재료의 동탄성 계수 측정 방법)에 따라 측정했다. 깔판 위에 시험편(200 × 200 × 70 mm)과 하중판(200 × 200 × 25 mm)을 놓고 그 위에 가속도계를 연결 후 Impact Hammer를 타격하여 측정한다.

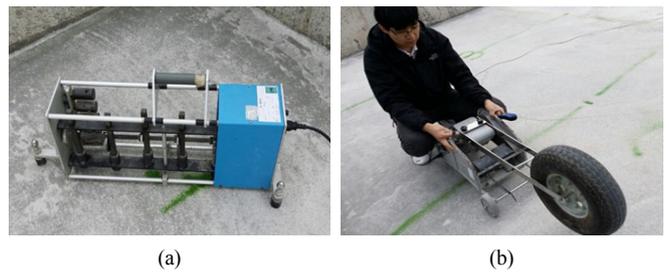


Figure 5. Tapping (a) and bang machines (b) used in the light and heavy weight shock noise test, respectively.

2.5. Field test

경량충격음은 KS F 2810-1 (바닥충격음 차단성능 현장 측정방법 제1부 : 표준경량충격원에 의한 방법)에 따라 측정했다. 표준경량충격원(Tapping machine, Figure 5(a))을 이용하여 충격음을 발생시킨다. 충격원의 설치위치는 실의 주변 벽으로부터 0.5 m 이상 떨어진 바닥 평면 내로 한다. 마이크로폰의 높이는 바닥으로부터 1.2 m, 천정, 주위벽 등으로부터 0.5 m 이상 떨어진 공간 내에 서로 0.7 m 이상 떨어진 4점의 측정점을 공간적으로 균등하게 분포시켜 측정한다.

중량충격음은 KS F 2810-2 (바닥충격음 차단성능 현장 측정방법 제2부 : 표준중량충격원에 의한 방법)에 따라 측정하였다. 표준중량충격원(Bang machine, Figure 5(b))을 이용하여 충격음을 발생시킨다. 충격원의 설치위치는 실의 주변 벽으로부터 0.5 m 이상 떨어진 바닥 평면 내로 한다. 뱁머신의 타이어 공기압은 (2.4 +/- 0.2) × 105 Pa로 정확히 주입 후 반자동으로 85 cm 높이에서 낙하 가진한다.

3. 결과 및 토론

제작된 FNIP를 필드에 적용하기 전 실험실 수준에서 진동특성을 조사하기 위해 동특성 및 손실 계수를 측정하였다(Table 4). 신규 시스템은 slim (70 mm)한 구조임에도 규격을 만족함을 알 수 있다.

건축물에는 철근을 적용하므로 이를 통한 고체전달음을 저감하기 위하여 EPDM으로 제작한 sleeve를 장착하였다(Figure 3(b)).

Table 5는 두께 80 mm의 기존 구조와 두께 70 mm의 2가지 신규 구조에 대한 field test 결과이다. 주택건설기준에 관한 규정 14조 3항에 의한 기준은 경량충격음 58 dB 이하, 중량충격음 50 dB 이하이다. 층간소음에 대한 보장이 없는 기존 구조(완충재 20 mm, 경량콘크리

Table 4. Dynamic Stiffness and Loss Factor of Floor Noise Isolation Panel

Properties	Unit	Requirements	Results	Remarks
Dynamic Stiffness	MN/m ³	max. 40	32.5	(24 ± 1) °C, (47 ± 3)% R.H.
Loss Factor	-	0.1~0.3	0.3	

Table 5. Light and Heavy Weight Shock Noise of Floor Noise Isolation System

Test	Requirements	Current Structure	FNIP	FNIP + Wrapping sleeve
Light weight shock noise (dB)	max. 58	75	55	52
Heavy weight shock noise (dB)	max. 50	52	50	48

트 60 mm)는 기준을 만족하지 못했다. 이는 경량콘크리트와 완충재만으로 충분히 충격음을 감쇄하지 못해 두께 증가가 필요하다. FNIP만 설치된 경우는 수용할 만한 결과를 보였다. 이는 본 연구에서 설계된 구조와 재료가 기존 구조와 재료 대비 효과적임을 보여준다. FNIP와 wrapping sleeve가 장착된 경우는 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이는 wrapping sleeve에 의한 고체전달음 저감 효과라 판단된다.

현재의 공법은 슬래브 위에 20~30 mm의 차음재를 깔고 그 위에 60~70 mm의 경량콘크리트를 습식공법으로 타설 후, 난방, 전선 등의 커버하기 위한 40 mm의 모르타르(mortar)를 다시 습식공법으로 시공한 후, 마지막으로 장판이나 강화마루판(10 mm)을 설치하는데 대략 130~150 mm 두께로 시공한다. 기존공정에서는 4회의 다른 공정이 필요하다. 반면, 본 연구에서의 소음·진동차단을 위한 바닥시스템 제안공법은 맨 밑의 차음재 공정이 없어지고, 차음재와 경량콘크리트를 같이 묶은 공정이며(58 mm), 습식공법이 아니라, 시간 및 현장에서의 일의 양이나, 여러 공정의 수고로움을 상당히 많이 덜 수 있다. 그 위에 공정은 현 공법과 같으므로, 최소한 1회 이상의 습식공법이 줄어들고, 두께도 58 mm + 40 mm + 10 mm = 108 mm로 기존에 비해서 22~42 mm 두께를 저감할 수 있다. 일부에서는 폐고무 냄새로 인한 삶의 질 저하에 대한 우려도 있었으나, 실제 시공 후 상부의 mortar finish와 그 위에 다시 flooring finish로 실제로 냄새는 감지되지 않았다.

4. 결 론

본 연구는 현대 생활의 주거 환경에서의 삶의 질을 떨어뜨리는 층간소음문제를 해결하고자 경제성을 고려하여 폐고무를 주재료로 하는 소음진동 차단 다층 시스템을 제시하였다. 철근에 의한 고체전달음 저감을 위해 wrapping sleeve를 적용하였다. Field test 결과 경량 및 중량충격을 레벨이 각각 52, 48 dB로 우수한 결과를 보였다. 기존 구조대비하여 22~42 mm의 두께 저감을 할 수 있었다.

5. 향후 연구 계획

Field test는 대규모 프로젝트여서 세 가지 경우의 시험만 진행하였다. 이로 인해 객관성 및 인자별 영향도 연구에서 부족함이 있다. 향후에는 더 많은 경우에서 시험함으로써 성능의 안정화 및 향상을 도모하고자 한다. 시험적용건축물은 소규모의 오피스텔건축물로서 공동주택의 모든 특성을 완벽하게 그대로 재현한다고 보기에는 실 적용에 약간의 무리가 있었다. 향후 실제 공동주택건설시에는 더 실제적이고 객관적인 연구가 되게 하고자 한다. 감쇄성능이 우수한 섬유가 혼재된 페타이어를 적용하는 연구를 추진하고자 한다.

References

- B.-G. Kim, S.-R. Kim, K.-S. Kwak, and S.-K. Oh, A study on floor impact sound due to resilient materials in apartment buildings *J. Korea Inst. Build. Constr.*, **4**(1), 5-10 (2004).
- S. C. Youn and J. M. Oh, Evaluation of floor-impact sound insulation for apartment buildings, *Proceedings of Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 932-937 (2003).
- G. G. Song, H. K. Park, T. G. Lee, J. S. Kim, and S. W. Kim, An experimental study on the reduction of lightweight impact sound by floorcoverings in apartment, *Proceedings of Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 433-434 (2008).
- K. S. Choi, H. J. Choi, K. S. Yang, and K. W. Kim, Evaluation of floor impact sound performance according to the reduction methods, *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.*, **14**(9), 811-818 (2004).
- H. Shin, G. J. Baek, C. Kook, M. J. Song, and S. W. Kim, A study of rating method comparison for heavy-weight floor impact sound based on the field test data in apartment houses, *J. Korea Inst. Ecol. Archit. Environ.*, **10**(5), 187-194 (2010).
- J. Y. Park and J. K. Cho, A study on the product development strategy of functional flooring for noise insulation, *J. Korea Des. Knowl.*, **33**, 401-409 (2015).
- H. S. Kim, W. Y. Choi, M. H. Lee, and S. H. Lee, Present condition and properties of resilient material for noise reduction, *Proceedings of Korea Concrete Institute Symposium*, pp. 407-408 (2014).
- M. J. Park, A study on the environmental characteristics of the floor noise: Focusing on performance measure in floor impact sound, *Resid. Environ.*, **14**(1), 163-171 (2016).
- J. Y. Jeong, H. H. Jeong, and Y. Ando, Objective and subjective evaluation of floor impact noise, *J. Temporal Des. Archit. Environ.*, **2**(1), 20-28 (2002).
- D. Harris, *Noise Control Manual for Residential Buildings*, McGraw-Hills (1997).
- H. J. Ryu, *A Legal Study on the Floor Impact Noise in Apartment Houses*, Master's Thesis, Kwangwoon University, Seoul, Korea (2013).
- J. Paul, Rubber reclaiming, in: H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, and G. Menges (eds.), *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Vol. 14, pp. 787-804, John Wiley, New York, USA (1985).
- A. A. Phadke, A. K. Bhattacharya, S. K. Chakraborty, and S. K. De, Vulcanization of reclaimed rubber, *Rubber Chem. Technol.*,

- 56(4), 726-736 (1983).
14. J. J. Leyden, Cryogenic processing and recycling, *Rubber World*, **203**(3), 28-29 (1991).
 15. D. S. Novotny, R. L. Marsh, F. C. Masters, and D. N. Tally, Microwave devulcanization of rubber, US Patent 4,104,205 (August 1978).
 16. A. I. Isayev, Continuous, ultrasonic devulcanization of vulcanized elastomers, US Patent 5,258,413 (1993).
 17. A. I. Isayev and J. Chen, Continuous ultrasonic devulcanization of vulcanized elastomers and apparatus therefore, US Patent 5,284,625 (1994).
 18. J. S. Oh and A. I. Isayev, Ultrasonically treated polypropylene/ground tire rubber blends, *Rubber Chem. Technol.*, **75**(4), 617-625 (2002).
 19. J. Yun, J. S. Oh, and A. I. Isayev, Ultrasonic devulcanization reactors for recycling of GRT: Comparative study, *Rubber Chem. Technol.*, **74**(2), 317-330 (2001).
 20. J. Yun and A. I. Isayev, Superior mechanical properties of ultrasonically recycled EPDM rubber, *Rubber Chem. Technol.*, **76**(1), 253-270 (2003).
 21. J. K. Kim and S. H. Lee, New technology of crumb rubber compounding for recycling of waste tires, *J. Appl. Polym. Sci.*, **78**, 1573-1577 (2000).